

3 На гіперакумулятивні властивості *F. septica* стосовно Zn впливають концентрації цього металу в субстраті, ґрунті та його рухомих формах.

4 Закономірності зв'язків переходу окремих металів по ланцюгам екосистеми описуються рівняннями лінійної регресії: $C_m(\text{Mn})=10,04C_{\text{soil}}-47,42C_{\text{SMF}}$; $C_m(\text{Pb})=0,21C_{\text{soil}}-1066,7C_{\text{rw}}$; $C_m(\text{Cd})=2,67C_{\text{soil}}$, де C_m – концентрація металу в міксоміцеті, C_{sub} – в субстраті, C_{soil} – в ґрунті, C_{SMF} – в рухомих формах ґрунту, C_{rw} – в дощовій воді.

Література

1 Кривомаз Т. І. Перший аналіз вмісту важких металів та інших елементів в плодових тілах нівальних міксоміцетів Карпат [Текст] / Т. І. Кривомаз, І. М. Андрусишина // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 4. – С. 20-31.

2 Latowski D. *Fuligo septica*, as a new model organism in studies on interaction between metal ions and living cells [Text] / D. Latowski, A. Lesiak, E. Jarosz-Krzeminska, K. Strzalka // Metal Ions in Biology and Medicine and Medicine. 2008. – N 10. – P. 204–209.

3 Poulain M. Les Myxomycètes [Text] / M. Poulain, M. Meyer, J. Bozonnet. – Delémont: FMBDS, 2011. – 1119 p.

4 Setälä A. High metal contents found in *Fuligo septica* L. Wiggers and some other slime molds (Myxomycetes) [Text] / A. Setälä, P. Nuorteva // Karstenia. 1989. – V. 29. – N 1. – P. 37-44.

5 Stijve T. Accumulation of various metals by *Fuligo septica* (L.) Wiggers and by some other slime molds (myxomycetes) [Text] / T. Stijve, D. Andrey // Australasian Mycologist. 1999. – V. 18. – N 2. – P. 23–26.

6 Tüzen M. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry [Text] / M. Tüzen // Microchem J. 2003. – N 74. – P. 289–297.

7 Zhulidov D.A. Zinc Accumulation by the Slime Mold *Fuligo septica* (L.) Wiggers in the Former Soviet Union and North Korea [Text] / D.A. Zhulidov, R.D. Robarts, A.V. Zhulidov, O.V. Zhulidova, D.A. Markelov, V.A. Rusanov, J.V. Headley // Journal of Environmental Quality. 2002. – N 31. – P. 1038–1042.

© Т. І. Кривомаз,
Д. В. Максименко

Надійшла до редакції 18 жовтня 2016 р.
Рекомендувала до друку
докт. техн. наук О. С. Волошкіна

УДК 504.61:622.32+502.211:582

Н. І. Глібовицька, Х. Б. Караванович
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УМОВАХ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Проаналізовано характерні реакції рослинних організмів у відповідь на контамінацію навколишнього середовища нафтою та нафтопродуктами. Виявлено погіршення функціонального стану ряду листяних деревних порід в умовах нафтового забруднення, що проявляється у зниженні ростових процесів та появі масових пошкоджень асиміляційних органів. Встановлено, що горіх волоський є стійким до контамінації поллютантами і може використовуватися у якості фіторемедіанта для рекультивациі забруднених нафтою територій. Гірकोкаштан звичайний, клен ясенелистий, липа серцелиста, липа широколиста, береза повисла та сосна звичайна є чутливими до

антропогенного навантаження та є інформативними біоіндикаторами екологічного стану навколишнього середовища.

Ключові слова: нафтогазове забруднення, деревні породи, морфометричні показники, функціональний стан.

Проанализированы характерные реакции растительных организмов в ответ на контаминацию окружающей среды нефтью и нефтепродуктами. Выявлено ухудшение функционального состояния ряда лиственных древесных пород в условиях нефтяного загрязнения, что проявляется в снижении ростовых процессов и появлении массовых повреждений ассимиляционных органов. Установлено, что орех грецкий устойчив к контаминации поллютантами и может использоваться в качестве фиторемедианта для рекультивации загрязненных нефтью территорий. Конский каштан обыкновенный, клен ясенелистный, липа сердцелистная, липа крупнолистная, береза повислая и сосна обыкновенная чувствительны к антропогенной нагрузке и являются информативными биоиндикаторами экологического состояния окружающей среды.

Ключевые слова: нефтегазовое загрязнение, древесные породы, морфометрические показатели, функциональное состояние.

The characteristic reactions of plant organisms in response to environmental oil and oil products contamination are analyzed. The worsening functional status of a number of deciduous tree species in terms of oil pollution is revealed, which manifests itself in reducing the appearance of growth processes and mass damage of assimilation organs. It is found that *Juglans regia* L. is resistant to contamination by pollutants and can be used for remediation of oil-contaminated areas. *Aesculus hippocastanum* L., *Acer negundo* L., *Tiliacordata* Mill., *Tiliaplatyphyllos* Scop., *Betula pendula* Roth, and *Pinus sylvestris* L. are sensitive to anthropogenic impact and are informative bioindicators of ecological environment.

Keywords: oil pollution, tree species, morphometric parameters, functional condition.

Вступ. Однією з головних екологічних проблем сучасності є забруднення навколишнього середовища нафтою та продуктами її переробки, що спонукає до пошуку шляхів зменшення негативного впливу контамінантів на біоту, оптимізації процесів нафтогазовидобутку та транспортування нафтопродуктів. У цьому контексті дуже перспективним напрямком відновлення деградованих територій є фіторекультивация за допомогою рослин-ремедіантів та оцінка екологічної ситуації у нафтозабруднених екосистемах за участю фітоіндикаторів. На сьогодні відомо, що цінними фіторемедіаційними характеристиками володіють чимало трав'янистих рослин, серед яких люцерна посівна (*Medicago sativa* L.), кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* Wigg.), нетреба звичайна (*Xanthium strumarium* L.), полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.), полин звичайний (*Artemisia vulgaris* L.), злинка канадська (*Erigeron canadensis* L.), деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), пирій повзучий (*Elytrigia repens* L.), морква дика (*Daucus carota* L.), які рекомендовані для відновлення техногенно-трансформованих едафотопів [5]. Разом з тим, дендроіндикація та дендроремедіація забруднених нафтою екосистем залишається актуальним питанням екомоніторингу, оскільки саме деревні рослини, перебуваючи в умовах тривалої експозиції, володіють потужною протидією негативним чинникам довкілля та відзначаються цінними осаджуючими і поглинальними властивостями [5, 7, 9, 13].

Відомо, що серед органів рослин найвищу пластичність до дії антропогенних факторів проявляють листки. Зміни забарвлення асиміляційних органів, поява некротичних ушкоджень, шкідників та хвороб є надійним критерієм екологічного стану навколишнього середовища та показником функціонального стану рослинного організму. Тому, метою даної роботи є дослідження впливу нафто-газовидобутку на функціональний стан деревних рослин.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводили в урбоєкосистемі Борислава, що розташована у передгір'ї та північно-східних схилах Українських Карпат та у міжгірних улоговинах ріки Тисмениця. Місто розташоване на нафтогазовому родовищі та є одним з найстаріших нафтопромислових центрів у світі. Урбоєкосистема характеризується високим рівнем загазованості приземного шару атмосфери та забрудненням нафтопродуктами ґрунтів, надземних водойм та підземних вод [1].

У якості об'єктів фітомоніторингу обрали наступні деревні види – клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), горіх волоський (*Juglans regia* L.), гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum* L.), липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), липа широколиста (*Tilia platyphyllos* Scop.), верба повисла (*Betula pendula* Roth.) та сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.). Здійснювали відбір зразків рослинного матеріалу з середньої частини крони по її периметру в ярусах за одного порядку галушення у період завершення повного розвитку (серпень-вересень) асиміляційної системи [8]. При цьому аналізували по 8 особин кожного виду, які зростають у зоні безпосереднього впливу родовища на відстані до 500 м. У якості контрольних обрали рослини з умовно екологічно чистої території – урочище Дем'янів Лаз.

Наявність некротичних ушкоджень листкових пластинок установлювали візуально. Класифікацію виявлених уражень листка проводили з використанням схеми, запропонованої Р. Шубертом [14]. Ступінь ушкоджень оцінювали за 5-бальною бонітуральною шкалою за методикою Руденко С. С. [11] у власній модифікації:

- 1 - пошкодження відсутні;
- 2 - наявні незначні точкові некрози;
- 3 - наявні плямисті некрози до 10 мм;
- 4 - наявні локальні некротичні плями, які перевищують 10 мм;
- 5 - половина листкової пластинки відмерла.

Досліджували ураження листкових пластинок деревних рослин хворобами та шкідниками та розраховували частку ушкоджених листків. Площу листків визначали ваговим методом за апробованою методикою [11].

Кожен параметр вивчали у 100-кратній повторності. Функціональний стан листкових пластинок рослин встановлювали, використовуючи рекомендовану нами оцінювальну шкалу (табл. 1) [2].

Таблиця 1

Шкала оцінки функціонального стану деревних рослин

% ушкоджених листяних пластинок	Клас життєвості	Категорія стійкості
1-10	I	висока
11-20	II	вище середньої
21-30	III	середня
31-50	IV	нижче середньої
>50	V	низька

Згідно з літературними даними [4, 6], більшість компонентів нафти є токсичними, тому, потрапляючи у рослину, призводять до виникнення стресових реакцій. Виявлено вплив нафтопродуктів на ріст та розвиток рослин, що призводить до скорочення термінів вегетації, зменшення площі органів асиміляції, передчасної дехромації та дефоліації [1]. Листок – як функціонально активний орган, швидше за інші реагує на природні і техногенні фактори довкілля, тому за реакцією листків можна судити про рівень техногенного пресингу та функціональний стан рослини. Шкідливі речовини, до яких належать присутні у нафті вуглеводні, важкі метали та їх сполуки з солями, легко проникають у тканини листків рослин через продихи, впливають на обмін речовин в клітинах, вступаючи в біохімічні реакції вже на рівні клітинних стінок та мембран.

Загальною неспецифічною реакцією дії нафтогазового забруднення на дерева є процес передчасного старіння. Проведена нами візуальна оцінка стану деревних порід в умовах впливу родовища свідчить про значно ослаблений деревостій поблизу родовища, зокрема, виявлено пошкодження комахами та хворобами, всихання окремих гілок нижньої третини крони, некрози на більш ніж 50 % площі листя та хвої. Некротичні пошкодження призвели до передчасного опадання листя дослідних дерев.

Некрози, зменшення приросту, всихання гілок є наслідком порушення цілого комплексу фізіологічних процесів рослини, зокрема, біосинтезу білків, фотосинтезу, інактивації ферментних систем.

Нашими дослідженнями встановлено наявність некротичних ушкоджень листових пластинок усіх досліджених деревних порід у зоні впливу Бориславського родовища (табл. 2). Найвищі показники відмирання листових тканин зафіксовані у клена ясенелистого та липи серцелистої.

Таблиця 2

**Функціональний стан деревних рослин в умовах зростання у зоні впливу
Бориславського нафтогазового родовища**

Вид рослини	Кількість ушкоджених листків, %		Клас життєвості	Категорія стійкості
	некрози	хвороби і шкідники		
<i>Acer negundo</i> L.	95	54	V	низька
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	100	100	V	низька
<i>Juglans regia</i> L.	-	-	-	висока
<i>Tiliacordata</i> Mill.	100	75	V	низька
<i>Tiliaplathyphyllos</i> Scop.	87	75	V	низька
<i>Betula pendula</i> Roth.	86	72	V	низька
<i>Pinus sylvestris</i> L.	60	55	V	низька

Нижчий рівень некротичних пошкоджень асиміляційного апарату характерний для сосни звичайної – 60 %, що свідчить про достатньо високий рівень антиоксидантного захисту організму виду та активізацію адаптаційних механізмів. Крім цього, вища стійкість хвойної породи до контамінації докілья нафтою порівняно з листовими породами є ознакою інтенсивного і тривалого впливу токсикантів на дерева, що призвело до запуску перебудови ендогенних метаболічних процесів, спрямованих на виживання виду. Це підтверджує положення про те, що окремі види значно відрізняються за глибиною і можливостями адаптаційних змін.

В умовах впливу родовища нами також відмічене всихання гілок і хвої сосни звичайної, що свідчить про дефіцит вологи у нафтозабрудненому ґрунті.

Проведений аналіз типів та ступенів некрозу листових пластинок деревних рослин показав, що усім дослідженим листкам клена ясенелистого притаманний одночасно верхівковий та плямистий тип некрозу з першим ступенем ураження. Верхівковий некроз виникає через накопичення краями листка солей важких металів, які містяться у нафті. Забруднення докілья діоксидом сульфуру при згоранні сірковмісних нафтопродуктів служить причиною виникнення кислотних дощів, які призводять до появи плямистих некрозів листків [11].

Відомо, що у нафто-забрудненому ґрунті більшість необхідних рослині елементів перебуває у недоступній формі через змінені фізико-хімічні властивості едафотопу, змінюється вуглецево-азотний баланс [6]. На дослідженій території виявлено ураження 54 % листків дерев клена ясенелистого захворюванням – смолистою плямистістю, яке виникає через нестачу азоту у ґрунті. Воно характеризується наявністю на листових пластинках чорних плям з жовтою облямівкою, кількість яких, за нашими підрахунками, сягає у середньому 8 діаметром до 3 см. Відзначено зниження площі листків виду у 1,4 рази відносно контролю.

Рослини гіркогоаштана звичайного та липи серцелистої характеризуються ураженням 100 % листків некрозом типу риб'ячий скелет п'ятого ступеня. Цей некроз виникає внаслідок поглинання токсикантів кореневою системою рослин [11]. Масове пошкодження ослаблених особин виду шкідниками виникає внаслідок їх зростання у несприятливих умовах забрудненого довкілля. В умовах дослідженої території усі листові пластинки гіркогоаштана уражені небезпечним і поширеним шкідником – мінуєючою міллю (*Camerariaochridella Deschkaand Dimic*). Згідно з даними літератури [3], некротичні плями гіркогоаштана звичайного виникають також через пошкодження грибом *Guignardiaaesculli*. Дослідні особини гіркогоаштана характеризуються пригніченням ростових процесів у 1,6 рази відносно фонових показників.

Особини липи серцелистої та широколистої в умовах нафтового забруднення середовища зазнають пошкоджень липовими кліщами, які провокують утворення галів – наростів на листовій поверхні. Відсоток пошкоджених тканин становить 25% у липи широколистої та 40% у липи серцелистої. Крім цього рослини ослаблені характерними для роду шкідниками – липовими попелицями, які виявлені на 75% досліджених листків. У досліджених рослин спостерігається зменшення площі листка у 1,8-2 рази щодо фонових значень.

Листя берези повислої пошкоджене комплексом шкідників – листокрутками строкато золотистою (*Cacoeciaxylosteana* L.) і розановою (*Cacoeciarosana* L.), березовою галицею (*Semidobiabetulae* Winn.) та грибом (*Nectriacinnabarina* Fr.). Поверхня листка вкрита масовими плямистими некрозами третього ступеня ураження. Відзначено зниження ростових процесів у 1,6 рази порівняно з контрольними рослинами.

У рослин горіха волоського на території дії нафтового родовища м. Борислава не виявлено видимих ознак пошкодження листових пластинок шкідниками і хворобами. Також відсутні некрози листків. Не встановлено достовірної зміни площі листків горіха у несприятливих умовах зростання. Вид є стійким до забруднення довкілля та може використовуватись у якості фіторемедіанта нафтозабруднених територій.

Основою фіторемедіаційних технологій є здатність рослин детоксифікувати небезпечні для біоти компоненти нафти з перетворенням їх до звичайних клітинних метаболітів. Біологічну деградацію нафтових вуглеводнів можуть здійснювати бактерії, гриби й трав'янисті рослини. На сьогодні розроблено метод очищення нафтозабруднених ґрунтів за допомогою рослини осоки шершаволистої (*Carexhirta* L.), який дозволяє у короткі терміни знижувати рівень вмісту нафти й нафтопродуктів у ґрунті, покращувати його біологічні та фізико-хімічні властивості. У той же час цей метод є екологічно безпечним і дешевим способом ремедіації та рекомендується для використання під час реалізації програм загальнодержавного та регіонального рівнів для боротьби з деградацією земель в Україні.

Тому дослідження фізіолого-біохімічних основ стійкості деревних рослин, зокрема, горіха волоського, до нафтового забруднення є перспективним напрямком рекультивації нафтозабруднених екосистем та завданням наших подальших досліджень.

Висновки. Клен ясенелистий, гіркогоаштан звичайний, липа серцелиста, липа широколиста, береза повисла в умовах зростання у зоні впливу нафтового родовища характеризуються низькою стійкістю та віднесені до V класу життєвості. Враховуючи чутливість деревних рослин до нафтогазового забруднення навколишнього середовища, доцільно рекомендувати *Aesculushippocastanum* L., *Acernegundo* L., *Tiliacordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop., *Betulapendula* Roth, для використання у якості біоіндикаторів екологічного стану техногенно-трансформованих екосистем. Сосна звичайна відзначається вищою екологічною пластичністю та краще пристосована до зростання в умовах нафтового забруднення порівняно з листовими породами, однак істотні пошкодження асиміляційних органів рослини не дозволяють віднести вид до стійких та таких, що володіють рекультиваційними властивостями.

Горіх волоський відзначається високою стійкістю до забруднення та фітопатогенів і віднесений до 1 класу життєвості. Вид рекомендований для використання в цілях рекультивації нафтозабруднених територій.

За комплексом морфологічних змін та пошкоджень листкових пластинок на дослідженій території функціональний стан деревних рослин зростає у наступному ряді: гіркокаштан звичайний → липа серцелиста → клен ясенелистий → липа широколиста → береза повисла → сосна звичайна → горіх волоський.

Література

- 1 Геохімічний контроль стану загазованості повітряного басейну м. Борислав із застосуванням матеріалів дистанційного зондування Землі: звіт про створення НТП (заключний). ЦАКДЗ ІГН НАН України. Київ, 2002. 100 с.
- 2 Глібовицька Н. І. Вітальність та біоіндикаційна перспективність липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) в урбоєкосистемі Івано-Франківська: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Дніпропетровськ, 2015. 20 с.
- 3 Григорюк І. П., Машковська С. П., Яворівський П. П. та ін. Біологія каштанів. К. : Логос, 2004. 380 с.
- 4 Джура Н. М. Фізіологічні аспекти адаптації рослин *Carex hirta* L. до нафтового забруднення: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.12. Київ, 2007. 20 с.
- 5 Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. К. : Наукова думка, 1978. 274 с.
- 6 Карпин О. Л. Реакция антиоксидантной системы растений *Carex hirta* L. *Fababona Medic.* (*Vicia faba* L.) в условиях нафтового забруднення ґрунту: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.12. Київ, 2010. 20 с.
- 7 Коршиков І. І., Гнатів П. С. Урботехногенне середовище як інтегральний чинник пристосування рослин // Промышленная ботаника. 2004. Вып. 3. С. 78–82.
- 8 Маргайлик Г. И. К методике отбора листьев древесных растений для сравнительных морфолого-анатомических и физиологических исследований // Ботанический журнал. 1961. Т. 50. №1. С. 89-90.
- 9 Мэнинг У. Дж., Федер У. А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 141 с.
- 10 Романюк О. Г., Шевчик Л. З. Комплексний екологічний моніторинг нафтозабруднених територій на прикладі міста Борислава // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 5. С. 1-9–22.
- 11 Руденко С. С., Костишин С. С., Морозова Т. В. Загальна екологія. Практичний курс: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Ч. 2. Природні наземні екосистеми. Чернівці. 2008. 320 с.
- 12 Саксонов М. Н., Абалаков А. Д., Данько Л. В. и др. Экологический мониторинг нефтегазовой отрасли. Физико-химические и биологические методы. Иркутск. 2005. 114 с.
- 13 Трешоу М. Загрязнение воздуха и жизнь растений. Л. : Гидрометеиздат, 1988. 460 с.
- 14 Schubert R. Ausgewählte pflanzliche Bioindikatoren zur Erfassung ökologischer Veränderungen in terrestrischen Ökosystemen durch antropogene Beeinflussung unter besonderer Berücksichtigung industrieller Ballungsgebiete // Hercynia N. F. 1977. N 14. S. 399-412.

© Н. І. Глібовицька,
Х. Б. Караванович

Надійшла до редакції 06 жовтня 2016 р.
Рецензія: докт. мед. наук, професор
Український науково-дослідний
інститут гірського лісівництва
імені П. С. Пастернака
І. В. Мазепа

Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко